

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT/JP99/04989

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JP 99/4989

#5
Priority Paper
Logan
DSM 3.09.99
4-1801

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年・9月17日

REC'D 29 OCT 1999

WIPO

PCT

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第262802号

出 願 人

Applicant (s):

株式会社ニコン

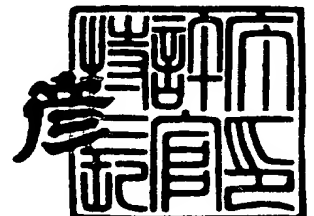
PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

1999年10月15日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特平11-3069478

【書類名】 特許願

【整理番号】 98-00931

【提出日】 平成10年 9月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 投影光学系の調整方法、及び該方法を使用する投影露光装置

【請求項の数】 7

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

 【氏名】 鈴木 広介

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

 【代表者】 吉田 庄一郎

【代理人】

 【識別番号】 100098165

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大森 聡

 【電話番号】 044-900-8346

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 019840

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9115388

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影光学系の調整方法、及び該方法を使用する投影露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 面のパターンの像を第 2 面上に投影する投影光学系の調整方法において、

前記第 1 面のパターンを照明する照明光の波長を変化させて、前記第 2 面上に前記投影光学系を介して投影される像の結像特性の変化量を検出することを特徴とする投影光学系の調整方法。

【請求項 2】 前記照明光の波長の変化量と対応する前記結像特性の変化量との関係に基づいて、前記投影光学系の所定の設置環境が変化したときに前記投影光学系の結像特性を調整することを特徴とする請求項 1 記載の投影光学系の調整方法。

【請求項 3】 第 1 面のパターンの像を第 2 面上に投影する投影光学系の調整方法において、

前記投影光学系の組立調整を行う組立地と、前記投影光学系が使用される移設地との間で設置環境が異なる場合に、

前記移設地で前記投影光学系を使用する際に前記第 1 面のパターンを照明する際の照明光の波長を前記設置環境の変化量に応じて変化させることを特徴とする投影光学系の調整方法。

【請求項 4】 第 1 面のパターンの像を第 2 面上に投影する投影光学系の調整方法において、

前記投影光学系の組立調整を行う組立地と、前記投影光学系が使用される移設地との間で設置環境が異なる場合に、

前記組立地で前記投影光学系の組立調整を行う際に前記第 1 面のパターンを照明する照明光の波長を前記移設地の設置環境に応じて変化させておくことを特徴とする投影光学系の調整方法。

【請求項 5】 請求項 2、3、又は 4 記載の投影光学系の調整方法であって、

前記投影光学系の内部には大気に連動して気圧の変化する気体が供給されてお

り、前記投影光学系の所定の設置環境の変化とは大気圧の変化であることを特徴とする投影光学系の調整方法。

【請求項 6】 照明光でマスクパターンを照明する照明光学系と、前記マスクパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、を備えた投影露光装置において、

前記照明光の波長を変化させる波長可変装置と、

前記投影光学系の結像特性の変化量を計測する結像特性計測系と、

前記投影光学系の設置環境を計測する設置環境計測系と、

前記照明光の波長の変化量と対応する前記結像特性の変化量との関係に基づいて、前記設置環境計測系の計測結果に応じて前記投影光学系の結像特性を調整する結像特性調整系と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 7】 照明光でマスクパターンを照明する照明光学系と、前記マスクパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、を備えた投影露光装置において、

前記照明光の波長を変化させる波長可変装置と、

前記投影光学系の設置環境の実際の変化量、又は予測される変化量に応じて前記波長可変装置による前記照明光の波長の変化量を制御する制御系と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、所定のパターンの像を投影する投影光学系の調整方法に関し、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程中でマスクパターンをウエハ等の基板上に転写する際に使用される投影露光装置に搭載される投影光学系の調整を行う場合に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンの像を投影

光学系を介して基板としてのウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するために使用されるステッパー型、又はステップ・アンド・スキャン方式等の投影露光装置においては、投影光学系の結像特性を常に良好な状態に維持して露光を行う必要がある。そのため、従来より投影露光装置は、温度や湿度等が管理されると共に防塵フィルタによって塵埃が除去された空気が循環しているチャンバ内に収納され、投影光学系の周囲の温度や湿度は所定の状態に設定されていた。

【0003】

ところが、そのチャンバ内の空気の気圧は大気圧に連動して変化するようになっていたため、その投影露光装置が稼働している場所の大気圧が変化すると、その投影光学系の周囲及びその投影光学系内のレンズ間の空気の気圧も変化して、投影光学系のベストフォーカス位置、及び投影倍率等の結像特性が微妙に変化していた。このように結像特性が変化した状態で露光を行うと、ウエハ上に投影される像の解像度が劣化したり、重ね合わせ誤差が生じたりしてしまう。そこで、従来は予め例えば投影光学系の単体としての組立調整時に、投影光学系の周囲の気圧に対する、その投影光学系の結像特性の変動量の関係（以下、「大気圧依存性」と呼ぶ）を計測して記憶しておき、その投影露光装置の稼働時に常時例えばその投影露光装置の周囲の気圧を計測し、この計測結果とその記憶してある関係とに基づいてその投影光学系の結像特性の変動量を求め、この結像特性の変動量を補正していた。

【0004】

また、そのように投影光学系の結像特性の大気圧依存性を計測するために、組立調整時に投影光学系の周囲の気圧を変化させる方法として、従来は（イ）長時間かけて大気圧が次第に変化するのを待つ方法、及び（ロ）内部の気圧を所望の値に変更できる気圧チャンバの中に投影光学系を収納する方法があった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の如く大気圧を変化させる方法の中で、（イ）の大気圧が変化するのを待つ方法は組立調整時間が長くなり、（ロ）の気圧チャンバを用いる方法は製造設備のコストが高くなるため、何れの方法も全部、又は全種類の投

影光学系に対して適用するのは困難である。更に（イ）の方法は、自然の営み任せであるため必ずしも所望の大気圧変化特性が得られない場合がある。

【0006】

一方、近年は露光波長の短波長化、及び開口数の増大等に対応するために、例えば反射屈折型（カタジオプトリック型）のように巨大な投影光学系も使用されるようになってきている。このように巨大化した投影光学系に（ロ）の方法を適用しようとする、それに応じて大型の気圧チャンバが必要となり、製造コストが更に増大するという不都合がある。

【0007】

本発明は斯かる点に鑑み、実際に投影光学系の周囲の設置環境（気圧等）を変化させることなく、実質的にその設置環境の変化に対するその投影光学系の結像特性の変動量の関係（依存性）を短時間に測定できる投影光学系の調整方法を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、投影光学系の組立調整を行う組立地と、その投影光学系が実際に露光に使用される移設地との間で設置環境（大気圧等）が異なる場合に、その組立地の設置環境を変化させることなく、実質的にその移設地での設置環境に合わせてその投影光学系の調整を行うことができる投影光学系の調整方法を提供することを第2の目的とする。

【0008】

更に本発明は、そのような調整方法を実施できる投影露光装置を提供することを第3の目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明による第1の投影光学系の調整方法は、第1面のパターンの像を第2面上に投影する投影光学系（11）の調整方法において、その第1面のパターンを照明する照明光の波長を変化させて、その第2面上にその投影光学系を介して投影される像の結像特性の変化量を検出するものである。

【0010】

斯かる本発明は、投影光学系にとって照明光の波長を変更することと、その投

影光学系の所定の設置環境（周囲の気体の圧力、温度、湿度等）を変更することとは実質的に等価であることを利用する。一例として、その設置環境としてその投影光学系の周囲の気圧、即ちその投影光学系を構成する1つ、又は複数の屈折素子（レンズ等）の周囲の気体の圧力を想定して説明する。この際に、その屈折素子の硝材の種類が単一であるときには、その等価性が完全に成立し、硝材が複数種類であってもその等価性はほぼ成立している。

【0011】

図12を参照してその等価性につき説明する。図12において、投影光学系を構成する屈折率が n_b のレンズ51に波長 λ の照明光が光路52に沿って入射しているものとして、レンズ51の周囲の気体の圧力（気圧）を P 、その屈折率を n_a とする。この場合、その周囲の気体の温度及び湿度が一定であるとする、その気体の屈折率 n_a は照明光の波長 λ 及び気圧 P の関数 $n_a(\lambda, P)$ で表され、レンズ51の屈折率 n_b は波長 λ のみの関数 $n_b(\lambda)$ で表される。従って、波長 λ 及び気圧 P がそれぞれ初期値 λ_0 及び P_0 であるときの屈折率 n_a 及び n_b をそれぞれ n_{a0} 及び n_{b0} とすると、波長 λ 及び気圧 P がそれぞれ $\Delta\lambda$ 及び ΔP だけ変動したときの屈折率 n_a 及び n_b は、所定の係数 k_1, k_2, k_3 を用いて一次近似で次のように表すことができる。

【0012】

$$n_a \doteq n_{a0} + k_1 \cdot \Delta\lambda + k_2 \cdot \Delta P \quad (A1)$$

$$n_b \doteq n_{b0} + k_3 \cdot \Delta\lambda \quad (A2)$$

また、図12において、照明光の光路は、レンズ51の周囲の気体に対する相対屈折率 n_b/n_a （= n_r とする）によって一義的に決定される。従って、仮に初期状態（ $\lambda = \lambda_0, P = P_0$ ）から気圧 P のみが ΔP だけ変動して、相対屈折率 n_r が次のように変化すると、照明光の光路52は例えば光路52Aに変化

する。なお、 $k_2 \cdot \Delta P \ll n_{a0}$ として更に近似を行い、 $n_{b0}/n_{a0} = n_{r0}$ 、 $-(n_{b0} \cdot k_2 / n_{a0}^2) = k_4$ とした。

【0013】

$$\begin{aligned} n_r &\doteq n_{b0} / (n_{a0} + k_2 \cdot \Delta P) \\ &\doteq n_{b0} / n_{a0} - (n_{b0} \cdot k_2 / n_{a0}^2) \cdot \Delta P \end{aligned}$$

$$= n r_0 + k_4 \cdot \Delta P \quad (A3)$$

次に、その初期状態から波長 λ のみが $\Delta\lambda$ だけ変動すると、相対屈折率 $n r$ は次のように変化する。ここでも、 $k_1 \cdot \Delta\lambda \ll n a_0$ として更に近似を行い、 $(k_3 / n a_0 - n b_0 \cdot k_1 / n a_0^2) = k_5$ とした。

【0014】

$$\begin{aligned} n r &\doteq (n b_0 + k_3 \cdot \Delta\lambda) / (n a_0 + k_1 \cdot \Delta\lambda) \\ &\doteq n b_0 / n a_0 + (k_3 / n a_0 - n b_0 \cdot k_1 / n a_0^2) \cdot \Delta\lambda \\ &= n r_0 + k_5 \cdot \Delta\lambda \end{aligned} \quad (A4)$$

(A3)式及び(A4)式の関係がそれぞれ図13の直線54及び直線53に表されている。図13において、横軸は波長 λ 、及び気圧 P であり、縦軸は相対屈折率 $n r$ である。

【0015】

この場合、(A4)式の相対屈折率 $n r$ の変化量 $k_5 \cdot \Delta\lambda$ が、(A3)式の相対屈折率 $n r$ の変化量 $k_4 \cdot \Delta P$ ($=\Delta n r$ とする)に等しくなると、波長 λ のみが $\Delta\lambda$ だけ変化したときの照明光の光路は、気圧のみが ΔP だけ変化したときの光路52Aに等しくなる。これが上記の等価性である。その等価性が成立する条件は近似的に次のようになる。

【0016】

$$\Delta\lambda = (k_4 / k_5) \cdot \Delta P \quad (A5)$$

より高次の近似を行うものとする。屈折率の変化量 ΔP の所定の関数 $f(\Delta P)$ を用いて、その等価性が成立するときの波長の変化量 $\Delta\lambda$ は、次式で表すことができる。

$$\Delta\lambda = f(\Delta P) \quad (A6)$$

従って、気圧 P が ΔP だけ変化した場合と同じ結像特性を得たい場合には、波長 λ を $f(\Delta P)$ だけ変化させればよいことになる。その関数 $f(\Delta P)$ はレンズ51の硝材、及びその周囲の気体の屈折率の特性より求めることができる。更に、複数の硝材を使用する場合には、例えば各硝材について得られる波長の変化量 $f_1(\Delta P)$ 、 $f_2(\Delta P)$ 、…の平均値で定まる値だけ波長を変化させるようにすればよい。また、凹面鏡等の反射部材については、屈折率が変化しても照

明光の光路は変化しないため、特に考慮する必要は無い。

【0017】

同様に、屈折率 n_a , n_b の温度や湿度に対する変化特性を用いて、照明光の波長のみを変化させることによって、実質的に投影光学系の周囲の温度や湿度を変化させた場合と等価な状態を実現することもできる。

従って、照明光の波長を所定の値にしてその投影光学系の結像特性を計測した後、その照明光の波長を所定量ずつ変化させて、順次その投影光学系の結像特性の変動量を計測することによって、実際にその投影光学系の周囲の設置環境を変化させることなく、実質的にその設置環境の変化に対するその投影光学系の結像特性の変動量の関係（依存性）を短時間に測定できる。

【0018】

その結像特性が例えばデフォーカス量 F であるとする、波長 λ を初期値 λ_0 から変化させながらその投影光学系のデフォーカス量 F の変動量を計測することによって、例えば図 14 の直線 55 で示す特性が得られる。次に、実際にその投影光学系を半導体製造工場等に搬入して露光を行う際には、例えば波長 λ を初期値 λ_0 に固定した状態で、その投影光学系の設置環境の計測を連続して行う。そして、例えば気圧 P が初期値 P_0 から ΔP_1 だけ変動した場合には、その変動量 ΔP_1 を (A6) 式を用いて波長の変動量 $\Delta \lambda_1$ に換算した後、この $\Delta \lambda_1$ と直線 55 とから対応するデフォーカス量 ΔF_1 を求める。この後は、例えばこの結像特性の変動量を相殺するように投影光学系の一部の光学素子の駆動を行うか、又は結像面の基板のフォーカス位置の調整等を行うことによって、常に最良の結像状態で露光が行われる。

【0019】

次に、本発明による第 2 の投影光学系の調整方法は、第 1 面のパターンの像を第 2 面上に投影する投影光学系 (11) の調整方法において、その投影光学系の組立調整を行う組立地と、その投影光学系が使用される移設地との間で設置環境が異なる場合に、その移設地でその投影光学系を使用する際にその第 1 面のパターンを照明する際の照明光の波長をその設置環境の変化量に応じて変化させるものである。

【0020】

斯かる本発明においても、その照明光の波長を変更することと、その設置環境（周囲の気体の圧力、温度、湿度等）が変化することとは実質的に等価であることを利用して、その移設地において設置環境として例えば気圧 P が大気圧に連動して ΔP だけ変化する場合には、上記の（A6）式より逆に気圧 P が $-\Delta P$ だけ変化するときに対応する波長の変動量 $\Delta \lambda_2$ を算出する。ただし、気圧が ΔP 変動するときの結像特性の変動量と、気圧が $-\Delta P$ だけ変動するときの結像特性の変動量とは、同じ大きさで符号が逆であるとする。そして、その組立地において照明光の波長を初期値 λ_0 に設定して、最良の結像特性が得られるように調整を行ってから、その投影光学系を移設地で稼働させる際には、照明光の波長をその変動量 $\Delta \lambda_2$ だけ変化させると、設置環境の変化による結像特性の変化量と波長の変動による結像特性の変化量とが相殺するために、最良の結像特性が得られる。

【0021】

次に、本発明による第3の投影光学系の調整方法は、第1面のパターンの像を第2面上に投影する投影光学系（11）の調整方法において、その投影光学系の組立調整を行う組立地と、その投影光学系が使用される移設地との間で設置環境が異なる場合に、その組立地でその投影光学系の組立調整を行う際にその第1面のパターンを照明する照明光の波長をその移設地の設置環境に応じて変化させておくものである。

【0022】

斯かる本発明においても、その照明光の波長を変更することと、その設置環境が変化することとは実質的に等価であることを利用して、その移設地において設置環境として例えば気圧 P が ΔP だけ変化する場合には、上記の（A6）式より等価な波長の変動量 $\Delta \lambda$ を算出し、その組立地において照明光の波長を初期値 λ_0 からその算出された変動量 $\Delta \lambda$ だけ変化させて、最良の結像特性が得られるように調整を行う。この後、その投影光学系を移設地で稼働させる際には、照明光の波長をその初期値 λ_0 に戻すと、設置環境が変化しているために、最良の結像特性が得られる。

【0023】

次に、本発明による第1の投影露光装置は、照明光でマスクパターン(9)を照明する照明光学系(1~8)と、そのマスクパターンの像を基板(12)上に投影する投影光学系(11)と、を備えた投影露光装置において、その照明光の波長を変化させる波長可変装置(22)と、その投影光学系の結像特性の変化量を計測する結像特性計測系(19)と、その投影光学系の設置環境を計測する設置環境計測系(20)と、その照明光の波長の変化量と対応するその結像特性の変化量との関係に基づいて、その設置環境計測系の計測結果に応じてその投影光学系の結像特性を調整する結像特性調整系(17, 18, 21)と、を設けたものである。斯かる本発明によれば、波長可変装置を用いてその照明光の波長を変化させることによって、本発明の第1の投影光学系の調整方法が実施できる。

【0024】

次に、本発明による第2の投影露光装置は、照明光でマスクパターン(9)を照明する照明光学系(1~8)と、そのマスクパターンの像を基板(12)上に投影する投影光学系(11)と、を備えた投影露光装置において、その照明光の波長を変化させる波長可変装置(22)と、その投影光学系の設置環境の実際の変化量、又は予測される変化量に応じてその波長可変装置によるその照明光の波長の変化量を制御する制御系(21)と、を設けたものである。斯かる本発明によれば、その設置環境の変化量に応じてその照明光の波長を変化させることによって、本発明の第2、又は第3の投影光学系の調整方法が実施できる。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。

図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、露光時には、発振波長を変化させるための波長可変装置を備えた露光光源1から射出された露光用の照明光ILは、不図示のビーム整形光学系を介して第1フライアイレンズ2に入射する。露光光源1としては、KrF(発振の中心波長248.5nm)、若しくはArF(発振の中心波長193.3nm)等のエキシマレーザ光源、F₂レーザ光源(発振の中心波長157.6nm)、又はYAGレーザの高調波発生装

置等が使用できる。また、露光光源 1 として水銀ランプ等を使用することも可能である。露光光源 1 がレーザ光源である場合の波長可変装置の一例につき、図 3 を参照して説明する。

【0026】

図 3 は、図 1 中の露光光源 1 の構成を示し、この図 3 において、ミラー 1 b と低い透過率を持つビームスプリッタ 1 c との間に、波長選択素子としての回転自在の回折格子 2 2 とレーザ共振器 1 a とが配置され、レーザ共振器 1 a から発振されたレーザビームの中で回折格子 2 2 によって選択された波長のレーザビームがビームスプリッタ 1 c から外部に射出されて、大きい透過率を持つビームスプリッタ 1 d に入射している。そして、ビームスプリッタ 1 d で反射されたレーザビームがフォトダイオード等の出力モニタ 1 e に入射し、出力モニタ 1 e の検出信号が、図 1 の装置全体の動作を統轄制御する主制御系 2 1 に供給されており、ビームスプリッタ 1 d を透過したレーザビームが露光用の照明光 I L として射出されている。

【0027】

この場合、回折格子 2 2 には回転用のモータ及び回転角計測用のロータリエンコーダが備えられ、主制御系 2 1 は出力モニタ 1 e の検出信号に基づいてその回折格子 2 2 の回転角を制御することによって、照明光 I L の波長を所定範囲内で制御できるように構成されている。通常の使用時には、例えば出力モニタ 1 e の検出信号が最大になる状態で回折格子 2 2 の回転角をロックしておくことで、照明光 I L の波長をそのレーザ光源の中心波長付近に設定しておく。一方、後述のように照明光 I L の波長を制御する際には、まず出力モニタ 1 e の検出信号が最大になるように回折格子 2 2 の回転角を設定した後、回折格子 2 2 の回転角を所定のステップ角ずつ変化させて、その波長をその中心波長から次第に変化させる。このために、予め回折格子 2 2 の回転角の変化量と照明光 I L の波長の変化量との関係を理論的に（又は実験的に）求めておき、その関係を図 1 の主制御系 2 1 に接続されている磁気ディスク装置等からなる記憶部 2 1 a に記憶しておく。そして、その関係を用いて変化させたい波長に応じて回折格子 2 2 を回転させればよい。

【0028】

その方法の他に、回折格子 22 の回転角の絶対値を所定の狭い範囲内で高い分解能で計測できるロータリエンコーダを設けておき、予めその回折格子 22 の回転角の絶対値と照明光 I L の波長との関係を求めて記憶部 21 a に記憶させておき、この関係に基づいてその照明光 I L の波長を直接設定するようにしてもよい。露光光源 1 が Kr F エキシマレーザ光源であれば、波長はほぼ 248.5 ± 0.3 nm 程度の範囲内で変更でき、露光光源 1 が Ar F エキシマレーザ光源であれば、波長はほぼ 193.3 ± 0.3 nm 程度の範囲内で変更できる。なお、波長選択素子としては、回折格子 22 の他に複数個直列配置されたプリズム、又はエタロン (Fabry-Perot etalon) 等を使用することができる。

【0029】

図 1 に戻り、第 1 フライアイレンズ 2 から射出された照明光 I L は、レーザ光のスペックル低減用に振動している振動ミラー 3 で反射されて不図示のリレーレンズを経て第 2 フライアイレンズ 4 に入射する。第 2 フライアイレンズ 4 の射出面、即ち転写対象のレチクル 9 のパターン面に対する光学的フーリエ変換面には、絞り可変板 5 が回転自在に配置されている。絞り可変板 5 には、図 2 に示すように通常の円形の開口絞り（以下「 σ 絞り」と呼ぶ）5 a、小さいコヒーレンスファクタ（ σ 値）用の σ 絞り 5 b、輪帯状の σ 絞り 5 c、及び複数の偏心した開口よりなる変形照明（傾斜照明）用の σ 絞り 5 d が配置されている。図 1 において、例えばレチクルを交換した際に主制御系 21 は、絞り可変板 5 を回転させて転写対象のパターンの種類や微細度等に応じた σ 絞りを第 2 フライアイレンズ 4 からの照明光の光路上に設置して、照明条件を最適化する。

【0030】

絞り可変板 5 中の所定の σ 絞りを通過した照明光 I L は、不図示のリレーレンズを経てレチクルブラインド（可変視野絞り）6 に入射し、レチクルブラインド 6 を通過した照明光 I L は、不図示のリレーレンズ、ミラー 7、及びコンデンサレンズ 8 を介してレチクル 9 のパターン面（下面）を均一な照度分布で照明する。レチクルブラインド 6 の配置面はそのパターン面と共役であり、レチクルブラインド 6 中の開口によってレチクル 9 上の照明領域が規定される。その照明光 I

Lのもとで、レチクル9のパターンの像が投影光学系11を介して投影倍率 β （ β は例えば $1/4$ ， $1/5$ 等）で、基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（wafer）12の表面に投影露光される。ウエハ12は例えば半導体（シリコン等）又はSOI（silicon on insulator）等の円板状の基板である。なお、図1は投影光学系11の結像特性を計測する状態を示しているため、ウエハ12は投影光学系11の露光領域から外れている。以下、投影光学系11の光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で、図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

【0031】

まず、レチクル9は、レチクルステージ10上に保持されており、レチクルステージ10は、X方向、Y方向、回転方向にレチクルRの微動位置決めを行う。主制御系21が、不図示のレーザ干渉計の位置計測結果に基づいてレチクルステージ10の動作を制御する。

一方、ウエハ12は、ウエハホルダ13上に真空吸着によって保持され、ウエハホルダ13は、ウエハステージ14上に固定されている。ウエハステージ14は、X方向、Y方向にウエハ12の位置決めを行うXYステージ部と、ウエハ12の投影光学系11の光軸AX方向（Z方向）の位置（フォーカス位置）の制御を行うZステージ部とから構成されている。更に、そのZステージ部にはウエハ12の傾斜角の制御を行うレベリング機構も備えられている。主制御系21は、不図示のレーザ干渉計の位置計測結果に基づいてウエハステージ14のXYステージ部のX方向、Y方向の位置の制御を行う。露光時には、ウエハ12上の一つのショット領域へのレチクル9のパターン像の露光が終わると、ウエハステージ14のステップ移動によって次のショット領域を露光位置に移動して露光を行うという動作がステップ・アンド・リピート方式で繰り返される。このように本例

の投影露光装置は、ステッパー型（一括露光型）であるが、レチクルステージ10に所定方向（例えばY方向）への連続移動機構を設けて、その投影露光装置をステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型とした場合にも本発明が適用できるのは言うまでも無い。

【0032】

〔オートフォーカスセンサ及びこの使用方法〕

上述のように露光を行う際には、オートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系 11 の像面にウエハ 12 の表面（ウエハ面）を合わせ込む必要がある。そのため、ウエハ 12 側及びレチクル 9 側にはそれぞれ光学式で斜入射方式のオートフォーカスセンサ（以下「AF センサ」という）が配置されている。

【0033】

即ち、投影光学系 11 の像面側の側面に、光軸 AX に斜めにウエハ面（又は計測用の基準面等）の複数の計測点にスリット像を投影する照射光学系 15a と、そのウエハ面からの反射光を受光してそれらのスリット像を再結像し、この再結像された複数のスリット像の横ずれ量に応じた複数のフォーカス信号を生成する集光光学系 15b とから構成される AF センサ（以下「AF センサ 15」という）が配置され、そのフォーカス信号が主制御系 21 に供給されている。そのフォーカス信号よりウエハ面の各計測点での Z 方向への位置ずれ量を求めることができる。AF センサ 15 と対称に投影光学系 11 の物体面側の側面にも、照射光学系 16a と集光光学系 16b とからなり、レチクル 9 のパターン面（レチクル面）の複数の計測点で Z 方向への位置ずれ量を検出するための AF センサ（以下「AF センサ 16」という）が配置され、集光光学系 16b の複数のフォーカス信号も主制御系 21 に供給されている。

【0034】

主制御系 21 は、それらのフォーカス信号より像面側の基準面に対するウエハ面の Z 方向への位置ずれ量、及び物体面側の基準面に対するレチクル面の Z 方向への位置ずれ量を算出し、これらの位置ずれ量に基づいて投影光学系 11 の像面に対するウエハ面のデフォーカス量を算出し、この算出されたデフォーカス量を相殺するようにウエハステージ 14 内の Z ステージ部を駆動して、ウエハ面のフォーカス位置を像面に合致させる。更に、それらの基準面に対するウエハ面及びレチクル面の傾斜角も算出され、これらの傾斜角よりその像面に対するウエハ面の傾斜角が求められ、主制御系 21 はその傾斜角を相殺するようにその Z ステージ部を駆動する。

【0035】

なお、ウエハ側のAFセンサ15のより詳細な構成は例えば特公平8-21531号公報に開示されている。そこに開示されている構成はレチクル側のAFセンサ16についても適用できる。

また、図1の投影露光装置が走査露光型である場合には、レチクル面の撓み、及びウエハ面の凹凸等によって走査露光中にウエハ面のフォーカス位置等が変化することがあるため、走査露光中にも所定のサンプリングレートで連続的にAFセンサ15、16による計測が行われ、この計測結果に基づいて算出されるウエハ面のデフォーカス量、及び傾斜角を相殺するようにウエハステージ14内のZステージ部が駆動される。

【0036】

ここで、上記のようにデフォーカス量及び傾斜角を算出する際の基準となる基準面の設定方法の一例につき説明する。この場合、レチクルステージ10の高さ、ひいてはレチクル9のパターン面のフォーカス位置は投影光学系11の設計上の物体面の位置に設定されているものとして、レチクル9の代わりに所定の評価用マークが形成されたテストレチクルをレチクルステージ10上に載置する。この状態でAFセンサ16によって計測されるレチクル面のフォーカス位置で定まる平均的な面を物体面側の基準面として、この基準面上ではAFセンサ16で計測されるフォーカス位置が0となるようにオフセット補正を行う。

【0037】

次に、ウエハステージ14上にフォトリソが塗布された未露光のウエハを載置して、そのウエハをX方向、Y方向に所定幅ずつステップ移動すると共に、順次Z方向の位置を所定幅ずつ変化させながら、そのウエハ上の一連のショット領域にその評価用マークの像を露光する。このように各ショット領域に露光する際にそれぞれAFセンサ15を用いてウエハ面のフォーカス位置を計測しておく。その後、そのウエハの現像を行ってから、例えば光学顕微鏡でそのウエハ上の一連のショット領域の各評価用マークの形状を観察し、その形状が最も良好なショット領域を決定し、このショット領域に露光したときにAFセンサ15で計測されていたフォーカス位置で定まる面を像面側の基準面とする。即ち、この基準

面上では A F センサ 15 で計測されるフォーカス位置が 0 となるようにオフセット補正を行う。このように 2 つの基準面を設定した後は、2 つの A F センサ 15, 16 の計測値はそのまま各基準面からのフォーカス位置のずれ量となるため、後述のように容易にウエハ面のデフォーカス量を算出することができる。

【0038】

なお、本例ではレチクル面のフォーカス位置の計測も行っているが、特に本例のようなステッパー型（一括露光型）の投影露光装置においては、レチクル面のフォーカス位置は殆ど変化しないため、レチクル面のフォーカス位置は固定値としてレチクル側の A F センサ 16 を省いても良い。ただし、走査露光型ではレチクルの位置によって撓み量が変わることがあるため、A F センサ 16 を設けることが望ましい。また、本例では A F センサとして斜入射方式のセンサを採用したが、それ以外に、例えばレチクル面やウエハ面の Z 方向の位置を干渉計で直接計測する方法、T T R（スルー・ザ・レチクル）方式で投影光学系を介してウエハ面のデフォーカス量を直接計測する方法、又は投影光学系とウエハとの間隔を気体式のマイクロメータ等を用いて計測する方法等を使用する場合にも、本例と全く同じ効果が得られる。

【0039】

〔結像特性補正部の構成及び動作〕

上記のように露光を行うに際しては、常に投影光学系 11 の結像特性を良好な状態に維持しておく必要がある。そこで、図 1 の投影光学系 11 には結像特性補正部 17 が設けられ、主制御系 21 の制御のもとで結像特性制御部 18 が結像特性補正部 17 を介して投影光学系 11 の所定の結像特性を最良の状態に維持している。

【0040】

図 4 は、図 1 の結像特性補正部 17 の具体的な構成例を示し、この図 4 において、投影光学系 11 を構成する多数のレンズの内の 5 箇所のレンズ 23～27 がそれぞれレンズ枠、及び投影光学系 11 の光軸方向に伸縮自在の圧電素子（ピエゾ素子等）よりなる駆動素子 28～32 を介して鏡筒に取り付けられている。例えば駆動素子 28 は、その光軸の回りに等角度間隔で 3 箇所に配置されており、

3箇所の駆動素子28を同じ量だけ伸縮させることでレンズ23はその光軸方向（Z方向）に移動し、3箇所の駆動素子28を互いに独立に伸縮させることでレンズ23の傾斜角が変化する。他の駆動素子29～32も同様に3箇所に配置されており、レンズ24～27もそれぞれ光軸方向の位置、及び傾斜角を所定範囲で制御することができる。なお、レンズ23～27の少なくとも1枚を複数枚のレンズ群としてもよく、更に5箇所以上のレンズ又はレンズ群を駆動できるようにしてもよい。

【0041】

また、不図示であるが、各駆動素子28～32の近傍にそれぞれ対応する駆動素子28～32の先端の位置を計測するための位置センサが配置されている。位置センサとしては、静電容量型のギャップセンサ、光学式や静電容量式等のリニアエンコーダ、又は干渉計等が使用でき、それらの位置センサの計測結果が結像特性制御部18に供給されている。結像特性制御部18はそれらの計測結果に基づいて駆動素子28～32の伸縮量を制御することによって、レンズ23～27の光軸方向の位置、及び傾斜角を互いに独立に主制御系21に指示された状態に設定する。レンズ23～27の位置及び傾斜角の駆動量を組み合わせることによって、投影光学系11の結像特性中の例えばディストーション、倍率誤差、像面湾曲、コマ収差、及び球面収差等を補正することができる。

【0042】

具体的にそれらの5個のレンズ23～27の光軸方向への駆動量をそれぞれ $G_1 \sim G_5$ としたときの、デフォーカス量 F 、像面湾曲 CU 、倍率誤差 M 、ディストーション D 、コマ収差 CO 、球面収差 SA は、係数 $C_{11} \sim C_{65}$ を用いて次のように表すことができる。係数 $C_{11} \sim C_{65}$ は、実際にレンズ23～27を駆動して、後述の結像特性の計測機構を用いて各結像特性を計測することによって実験的に求めることができる。

【0043】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} F \\ CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & & C_{25} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ C_{61} & C_{62} & \cdots & C_{65} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix}$$

【0 0 4 4】

なお、それらの係数 $C_{11} \sim C_{65}$ は、高精度な光学シミュレーションにより計算で求めてもよい。

また、本例では結像特性補正部 1 7 として複数枚のレンズ（又はレンズ群）を駆動する部材が使用されているが、その代わりに投影光学系 1 1 を構成する所定の一部のレンズ間の空間を密封して、その空間中の気体の圧力を制御する装置を採用してもよい。また、レンズを駆動する部材とレンズ間の気体の圧力を制御する装置とを組み合わせ使用してもよい。

【0 0 4 5】

〔結像特性の計測機構及びその計測方法〕

次に、投影光学系 1 1 の結像特性の計測機構及びその計測方法につき説明する。図 1 において、ウェハステージ 1 4 上のウェハホルダ 1 3 の近傍には光電検出部 1 9 が配置されている。光電検出部 1 9 の表面はウェハ 1 2 の表面と同じ高さに設定されており、結像特性の計測時には、ウェハステージ 1 4 の X Y ステージ部の駆動によって図 1 に示されているように、光電検出部 1 9 は投影光学系 1 1 の底部に移動する。

【0 0 4 6】

図 5 は、光電検出部 1 9 を示す拡大平面図、図 6 は図 5 を Y 方向に見て一部を断面とした図であり、図 5 及び図 6 において、光電検出部 1 9 の上部に露光用の照明光を透過する平行平板 3 3 が設置され、平行平板 3 3 の表面にクロム膜よりなる遮光膜が形成され、この遮光膜の中央部にエッチングによってその照明光を透過させる正方形の開口 3 4 が形成されている。

【0047】

また、平行平板33の底面に開口34を覆うような受光部を備えた光電センサ35が配置され、図1の投影光学系11から射出されて開口34を通過した照明光が光電センサ35によって受光され、光電センサ35の検出信号DSが図1の主制御系21に供給されている。光電センサ35としてはフォトマルチプライア又はフォトダイオード等が使用できる。

【0048】

結像特性を計測する際には、まず、図1のレチクル9の代わりに所定の特性評価用マークが描画されたテストレチクルがレチクルステージ10上に載置され、その特性評価用マークと図5の光電検出部19の開口34とがほぼ共役関係となるように、ウェハステージ14の位置決めが行われる。その後、照明光ILが照射されて、図7に示すようにその特性評価用マークの像36が光電検出部19の開口34の近傍に投影される。通常、その特性評価用マークとしては、投影光学系11の露光領域内の複数の計測点に対応して配置された複数の周期パターン（例えばライン・アンド・スペースパターン）が使用され、その特性評価用マークの像36の周期方向である計測方向（図7ではX方向）の全体の幅は、開口34のX方向の幅よりも短くなるようにしてある。この状態で、ウェハステージ14を駆動して、開口34が特性評価用マークの像36を横切るように光電検出部19をX方向に走査し、主制御系21において光電検出部19の検出信号DSをウェハステージ14のX座標に対応させて記憶する。

【0049】

この結果、図8の曲線37で示すように、走査方向の位置Xに対応して階段状に変化する検出信号DSが得られる。検出信号DSは特性評価用マークの像36の光量を走査方向に対して積分した積算光量に対応している。そこで、主制御系21内の演算部にて、その検出信号DSを走査方向の位置Xに対して微分して、図9の曲線38で示すように微分信号 dDS/dX を得る。この微分信号 dDS/dX は、特性評価用マークの像36のX方向の光量分布を再現した信号であり、その主制御系21内の演算部は例えばその微分信号 dDS/dX をフーリエ級数展開することで、その微分信号 dDS/dX の振幅やX方向の中心位置を求め

る。その振幅、及び中心位置はそれぞれその特性評価用マークの像 36 のコントラスト、及び投影位置を表している。上記のように特性評価用マークは、投影光学系 11 の露光領域内の複数の計測点に投影されているため、主制御系 21 は、それらの複数の計測点において、特性評価用マークの像のコントラスト及び投影位置を求める。そして、これらの計測結果を処理することで以下のような投影光学系 11 の結像特性が求められる。

【0050】

(A) ベストフォーカス位置及び像面湾曲

上記のように投影光学系 11 の露光領域内の複数の計測点に投影される特性評価用マークの像のコントラスト、及び投影位置を計測する際に、各計測点においてウェハステージ 14 の Z ステージ部を駆動して光電検出部 19 のフォーカス位置を所定量ずつ変えてそれぞれ当該特性評価用マークの像のコントラストを計測する。このように計測を行う際に、図 1 の AF センサ 15 を用いて光電検出部 19 の平行平板 33 の表面のフォーカス位置を計測しておく。

【0051】

そして、各計測点において特性評価用マークの像のコントラスト（図 9 の微分信号 dDS/dX の振幅）が最も高くなる時のフォーカス位置をベストフォーカス位置（像面の位置）として求める。このとき、例えば複数の計測点で求められるベストフォーカス位置を平均化した値を投影光学系 11 のベストフォーカス位置とする。なお、このようにして求められるベストフォーカス位置は、上記のようにテストプリントによって求められたウェハ側の基準面に対するずれ量となっているため、本例ではテストプリントによって求められた基準面のキャリブレーションを行ったことになる。

【0052】

また、その複数の計測点で求められるベストフォーカス位置の分布によって投影光学系 11 の像面湾曲を求めることができる。

なお、各計測点には、それぞれ計測方向（周期方向）が X 方向及び Y 方向の特性評価用マークを投影しておく、各計測点では 2 つの計測方向の投影位置を求めるようにようにしてもよい。この場合に各計測点でベストフォーカス位置を求め

る際には、その2つの計測方向のベストフォーカス位置の平均値を求めれば良い。更に、各計測点で2つの計測方向のベストフォーカス位置の差分を求めることで非点収差を求めることもできる。

【0053】

(B) 倍率誤差、及びディストーション

上記のようにテストレチクルの複数の評価用マークの像の投影位置を計測し、これらの評価用マークの像の投影位置間の間隔を算出し、この算出された間隔をテストレチクル上の対応する評価用マーク間の予め求められている間隔で除算することによって、投影光学系11の投影倍率 β を求める。この投影倍率 β の設計値 β_0 からの誤差 $\Delta\beta$ が倍率誤差となる。また、投影光学系11の露光領域において、光軸に対する間隔が互いに異なる複数の計測点でそれぞれ評価用マークの像の投影位置の設計上の位置からのずれ量を求めることによって、ディストーションを求めることができる。

【0054】

(C) 球面収差

上記のテストレチクル上の各評価用マークとしてそれぞれ複数の異なるピッチの周期マークを形成しておき、投影光学系11のほぼ光軸上の計測点において、それらの異なるピッチの周期マークの像のベストフォーカス位置を計測し、これらのベストフォーカス位置の変化量を求めることによって球面収差を求めることができる。

【0055】

(D) コマ収差

球面収差計測時に用いたテストレチクルを用いて、投影光学系11の光軸から離れた計測点において、それらの異なるピッチの周期マークの像の投影位置を計測し、これらの投影位置のずれ量を求めることによって、コマ収差を求めることができる。

【0056】

[投影光学系の結像特性の設置環境に対する依存性の計測]

さて、露光に際しては投影光学系の結像特性を常に良好な状態に維持しておく

必要があるが、その投影光学系の組立調整を行う「組立地」と、その投影光学系 11 を組み込んで実際に露光を行う半導体製造工場等の「移設地」とで、設置環境（投影光学系の周囲の気体の気圧、温度、湿度等）が異なると、その移設地では組立調整時に得られた結像特性が正確に再現されないことになる。そのため、図1において、投影光学系 11 の近傍には投影光学系 11 の周囲の気体の圧力（気圧）、温度、及び湿度を計測するための環境センサ 20 が配置され、この環境センサ 20 の計測結果が主制御系 21 に供給されている。環境センサ 20 と同様のセンサが投影光学系 11 の組立地にも備えられている。

【0057】

ただし、組立地における投影光学系の組立調整は内部の気体の温度及び湿度が管理されたチャンバ内で行われると共に、移設地においてその投影光学系を備えた投影露光装置は内部の気体の温度及び湿度が高度に管理されたチャンバ内で稼働する。それに対して、組立地のチャンバ内、及び移設地のチャンバ内に供給される気体（例えばオゾンの含有量を低く抑えた空気、窒素、又はヘリウム等）は、それぞれそれらのチャンバの外部のクリーンルーム内の空気の圧力、即ちその組立地又は移設地の大気圧とほぼ等しい圧力で供給されるため、組立地と移設地とで例えば標高の相違によって大気圧が異なると、投影光学系の結像特性が変動することになる。そこで、以下ではその投影光学系の周囲の気体の温度及び湿度の変化による結像特性の変動は考慮することなく、その投影光学系の周囲の気圧（ほぼ組立地又は移設地の大気圧に等しい）の変動による結像特性の変動特性を求めるものとする。

【0058】

なお、組立地と移設地とで投影光学系の周囲の温度及び湿度が変動し、これによって結像特性が許容範囲を超えて変動する恐れのある場合には、温度及び湿度も結像特性に影響を与えるパラメータとすればよい。

まず、結像特性の内のデフォーカス量 F_{PRESS} を、投影光学系 11 の周囲の気圧の変化量 ΔP を用いて次のように表す。この気圧の変化量 ΔP はほぼ大気圧の変化量とみなすことができる。

【0059】

【数 2】

$$F_{PRESS} = K_{FP} \times \Delta P$$

ただし、係数 K_{FP} は、気圧の変化量に対するデフォーカス量の変化率である。
同様に、それぞれ気圧の変化量に対する変化率である係数 K_{CUP} 、 K_{MP} 、 K_{DP} 、 K_{COP} 、 K_{SAP} を導入して、次のように各結像特性の変化量を気圧の変化量 ΔP を用いて表す。

【0060】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} F_{PRESS} \\ C_{UPRESS} \\ M_{PRESS} \\ D_{PRESS} \\ C_{OPRESS} \\ S_{APRESS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{FP} \\ K_{CUP} \\ K_{MP} \\ K_{DP} \\ K_{COP} \\ K_{SAP} \end{bmatrix} \cdot \Delta P$$

【0061】

なお、(数 3) には (数 2) も含まれていると共に、各結像特性の変化量の意味は以下の通りである。

- F_{PRESS} : 気圧変化によるデフォーカス量、
- C_{UPRESS} : 気圧変化による像面湾曲の変化量、
- M_{PRESS} : 気圧変化による投影倍率の変化量 (倍率誤差)、
- D_{PRESS} : 気圧変化によるディストーションの変化量、
- C_{OPRESS} : 気圧変化によるコマ収差の変化量、
- S_{APRESS} : 気圧変化による球面収差の変化量。

【0062】

なお、図 2 の絞り可変板 5 中の σ 絞り 5 a ~ 5 d、レチクル 9 のパターンの種類 (パターン情報)、及び投影光学系 11 の開口数等の照明条件や露光条件により、気圧変化時のそれらの係数 $F_{PRESS} \sim S_{APRESS}$ の値が異なる場合がある。
この場合には、各照明条件及び露光条件毎にそれらの係数を新たに計測しておき、露光時の照明条件及び露光条件に応じて最適な係数を使用すればよい。

【0063】

ここで問題となるのは、いかにして気圧変化時のそれらの係数 $F_{PRESS} \sim S A_{PRESS}$ の値を決定するかである。最も正確な方法は、投影光学系 11 の組立地において投影光学系 11 を気圧可変の気圧チャンバ内に収納して、内部の気圧を変更しながら各結像特性の変化量を計測する方法であるが、これは大型で高精度の気圧チャンバを必要とするため製造コストが上昇する。

【0064】

そこで、既に説明したように光学系においては照明光の波長 λ を変更することと、周囲の気圧 P を変更することとは実質的に等価であることを利用する。そして、投影光学系 11 の周囲の気体の屈折率、及び投影光学系 11 を構成するレンズの硝材の屈折率をそれぞれ例えば (A1) 式及び (A2) 式に対応する式で近似することによって、その波長 λ の変化量 $\Delta \lambda$ とその気圧 P の変化量 ΔP との変換関係を例えば (A5) 式に対応させて算出する。複数種類の硝材を使用する場合には、例えば各硝材について求められる式を平均化した式を使用すればよい。このように算出された所定の係数 $K6$ を用いて、 $\Delta \lambda = K6 \cdot \Delta P$ となる。これは、気圧 P のみを ΔP だけ変更した状態を得たい場合には、気圧 P を一定にした状態で照明の波長 λ のみを $K6 \cdot \Delta P$ だけ変更すればよいことを意味する。

【0065】

そこで、図 1 の投影光学系 11 の組立地においては、図 1 と同じ構成の組立調整用の投影露光装置を使用するものとして、露光光源 1 の照明光 I_L の波長を中心波長 λ_0 に設定し、レチクル 9 の代わりに上記のテストレチクルを載置して、図 4 の結像特性補正用のレンズ 23～27 の駆動量をそれぞれ 0 (中立状態) に設定した状態で、光電検出部 19 を用いてデフォーカス量～球面収差の各結像特性を計測しながら、各結像特性をそれぞれ最良の状態に設定する。この際に計測される各結像特性の残留誤差を計測して記憶しておく。

【0066】

その後、環境センサ 20 を用いて投影光学系 11 の周囲の気圧 (これを P_{ini} とする) を計測する。次に、図 3 の露光光源 1 の回折格子 22 を回転させて照明光 I_L の波長 λ を $\Delta \lambda_s$ だけ変更した後、光電検出部 19 を用いて再びデフォー

カス量～球面収差の結像特性を計測する。同様に、露光光源 1 の照明光 I L の波長を $2 \cdot \Delta \lambda_s$, $3 \cdot \Delta \lambda_s$, ..., $n \cdot \Delta \lambda_s$ (n は 2 以上の整数) と変更しながら、それぞれ光電検出部 19 を用いてデフォーカス量～球面収差の結像特性を計測する。更に、露光光源 1 の照明光 I L の波長を中心波長 λ_0 に対して $-\Delta \lambda_s$, $-2 \cdot \Delta \lambda_s$, ..., $-n \cdot \Delta \lambda_s$ と変更しながら、それぞれデフォーカス量～球面収差の結像特性を計測する。

【0067】

図 10 及び図 11 には、そのようにして計測される結像特性の中でデフォーカス量及び倍率誤差が示されている。図 10 及び図 11 の横軸は照明光 I L の波長の変化量 $\Delta \lambda$ であるが、この変化量 $\Delta \lambda$ を上記の関係式 ($\Delta \lambda = K_6 \cdot \Delta P$) を用いて気圧の変化量 ΔP に換算する。

その後、各結像特性毎の計測データを最小 2 乗近似することによって、気圧の変化量 ΔP に対するデフォーカス量～球面収差の変化率を表す係数 K_{FP} , K_{CUP} , K_{MP} , K_{DP} , K_{COP} , K_{SAP} を算出する。図 10 及び図 11 の例では、計測データをそれぞれ最小 2 乗近似直線 39 及び 40 で近似すると、最小 2 乗近似直線 39 及び 40 の傾きがそれぞれデフォーカス量の係数 F_{PRESS} 、及び倍率誤差の係数 M_{PRESS} となる。これらの係数 $K_{FP} \sim K_{SAP}$ 、及び投影光学系 11 の組立調整時の気圧 P_{ini} の情報は、図 1 の主制御系 21 に接続されている記憶部 21a に記憶される。

【0068】

[移設地での結像特性の補正方法]

上記のように投影光学系 11 の組立地での気圧は P_{ini} であり、その投影光学系 11 が装着された投影露光装置が設置される半導体製造工場等の移設地での或る露光工程中での投影光学系 11 の周囲の気圧（ほぼその移設地のその時点での大気圧に等しい）を P_{run} とする。この場合、移設地での気圧 P_{run} が組立地での気圧 P_{run} と異なる場合には、露光光源 1 の照明光 I L の波長 λ を中心波長 λ_0 に設定すると、最良の結像特性が得られないことになる。そこで、最良の結像特性を得るために、図 1 においてその露光工程中に主制御系 21 は、環境センサ 20 を介して周囲の気圧 P_{run} を計測し、記憶部 21a に記憶されている組立地

での気圧 P_{ini} に対する変化量 $\Delta P (= P_{run} - P_{ini})$ を算出する。

【0069】

次に主制御系 21 は、記憶部 21a に記憶されている係数 $K_{FP} \sim K_{SAP}$ とその気圧の変化量 ΔP とを (数 3) に代入して、デフォーカス量 F_{PRESS} ～ 球面収差の変化量 SA_{PRESS} を算出する。これによって、その露光工程でのデフォーカス量 F 、像面湾曲 CU 、倍率誤差 M 、ディストーション D 、コマ収差 CO 、球面収差 SA は、次のようになる。

【0070】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} F \\ CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{PRESS} \\ CU_{PRESS} \\ M_{PRESS} \\ D_{PRESS} \\ CO_{PRESS} \\ SA_{PRESS} \end{bmatrix}$$

【0071】

そこで、主制御系 21 は、デフォーカス量 F を除いた 5 個の結像特性を図 4 のレンズ 23 ～ 27 の駆動によって補正するために、(数 1) の一部の逆変換に対応する次式を用いて、レンズ 23 ～ 27 の光軸方向の駆動量 $G_1 \sim G_5$ を求める。

【0072】

【数 5】

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} C_{21} & \dots & C_{25} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{61} & \dots & C_{65} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} CU \\ M \\ D \\ CO \\ SA \end{bmatrix}$$

【0073】

主制御系 21 は、(数 5) で定まる駆動量 $G_1 \sim G_5$ を図 4 の結像特性制御部

18に供給して、レンズ23～27を駆動させる。これによって、像面湾曲CU、倍率誤差M、ディストーションD、コマ収差CO、球面収差SAはそれぞれ許容範囲内に抑えられる。

ただし、レンズ23～27の駆動によって、副作用的に新たなデフォーカス量が発生する。主制御系21は、(数1)の一部の係数を用いてその新たなデフォーカス量FGを次式より求める。

【0074】

【数6】

$$FG = [C_{11} \ C_{12} \ C_{13} \ C_{14} \ C_{15}] \cdot \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix}$$

【0075】

総合的に、気圧変化分、及びレンズ群の移動による変化分を合わせた投影光学系11のデフォーカス量FLは、次のようになる。

【0076】

【数7】

$$FL = F + FG$$

このデフォーカス量FLは、図1のウエハステージ14のZステージ部を駆動することによって補正することができる。

次に、そのデフォーカス量の補正方法につき説明する。まず、図1において、レチクル側のAFセンサ16によってレチクル6のパターン面(レチクル面)の上記の基準面からのZ方向への位置ずれ量Rzを計測し、ウエハ側のAFセンサ15によってウエハ12の表面(ウエハ面)の上記の基準面からのZ方向への位置ずれ量Wzを計測する。そして、投影光学系11の投影倍率βを用いて、主制御系21は次式からウエハ面の投影光学系11の像面に対するデフォーカス量dFを算出する。

【0077】

【数8】

$$dF = Rz \times \beta^2 - Wz$$

そして、(数7)のデフォーカス量FLが0であるときには、(数8)のデフォーカス量dFが0となるようにウエハステージ14のZステージ部をZ方向に移動する。これによってレチクル9とウエハ12との共役関係が保たれる。具体的に例えば図1の投影露光装置がステップ・アンド・スキャン方式であるとして、レチクル9の走査中にレチクル面がZ方向に10μmずれたとすると、投影倍率βが0.25倍のときに像面はZ方向に0.625μm移動する。このとき、Zステージ部を駆動してウエハ12をZ方向に0.625μm変位させることによって、(数8)のデフォーカス量dFは0となる。

【0078】

更に、投影光学系11の周囲の気圧の変化に依って(数7)に示すように投影光学系11の像面がデフォーカス量FLだけ変動した場合には、(数8)にそのデフォーカス量FLを加算してデフォーカス量dF'を算出する。

【0079】

【数9】

$$dF' = FL + Rz \times \beta^2 - Wz$$

そして、主制御系21はそのデフォーカス量dF'を相殺するようにウエハステージ14中のZステージ部を駆動する。これによって、投影光学系11の周囲の気圧が変化した場合でも、常に合焦状態で高い解像度で露光が行われる。

【0080】

[高地オフセット]

上記の実施の形態では、投影光学系の設置環境が変化した場合に、その設置環境に応じて投影光学系の結像特性を補正することによって最良の結像特性を得ていた。これに対して、投影光学系の組立調整時に予めその投影光学系の移設地と実質的に同じ設置環境(疑似的な設置環境)を作り出すことも可能である。ここでは、その設置環境として投影光学系の周囲の気圧に着目する。また、ここではその周囲の気圧はその投影光学系の移設地の大気圧と同じものとする。なお、大

気圧は、気象条件によって変動するため、以下では年平均の大気圧を考える。

【0081】

このような年平均の大気圧は、標高の高い場所では次第に低くなる。そこで、投影光学系の組立地の標高と移設地の標高との相違より、移設地と組立地との大気圧の平均的な変化量 ΔP を求める。なお、移設地で実際に観測される平均的な大気圧と組立地でその投影光学系の組立中に観測される平均的な大気圧との差分をその変化量 ΔP とすることが望ましい。

【0082】

そして、第1の方法として、投影光学系11の組立調整時には照明光ILの波長を中心波長 λ_0 に設定して、最良の結像特性が得られるように調整を行う。この場合には移設地において、その大気圧の変化量 ΔP による結像特性の変化量を相殺するような結像特性の変化量を引き起こす照明光の波長の変化量を $-\Delta\lambda$ として、照明光ILの波長を中心波長 λ_0 に対して $-\Delta\lambda$ だけ変化させておく。これによって、大気圧の変化量 ΔP と波長の変化量 $-\Delta\lambda$ とによる結像特性の変化量が全体としてほぼ0になるため、移設地でもほぼ最良な結像特性が得られる。この方法では、投影光学系11の組立調整時の煩雑な波長管理が不要であるため、投影光学系11の製造コストを低減する利点があり、また移設地が変更された場合でも柔軟に対処できるという利点がある。

【0083】

また、第2の方法として、その大気圧の変化量 ΔP と等価な照明光ILの波長の変化量を $\Delta\lambda$ として、組立地においては、図1の露光光源1の照明光ILの波長を中心波長 λ_0 に対して $\Delta\lambda$ だけずらした状態で、投影光学系11の各結像特性を最良な状態に設定しておく方法もある。その後、投影光学系11を移設地で稼働させる際には、露光光源1の照明光ILの波長を中心波長 λ_0 に戻す。この際に、大気圧が ΔP だけ変動しているため、組立調整時と同じく最良の結像特性が得られる。この方法では、移設地では、全ての投影露光装置の照明光の波長が一定となっているので、露光光源自体の信頼性が高く維持されて、メンテナンスも容易である。

【0084】

これらの方法を用いれば、投影光学系の組立地と移設地とに標高差に基づく大気圧差がある場合でも、移設先での投影光学系の調整作業量を大幅に低減することができる。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0085】

【発明の効果】

本発明の第1の投影光学系の調整方法によれば、照明光の波長を変化させることによって、実際に投影光学系の周囲の設置環境を変化させることなく、実質的にその設置環境の変化に対するその投影光学系の結像特性の変動量の関係（依存性）を短時間に測定できる。また、本発明によれば、近年使用されるようになっている反射屈折型のように巨大な投影光学系の組立調整も、それに応じた巨大な気圧チャンバを使用することなく、低い製造コストで容易に行うことができる利点がある。

【0086】

また、本発明の第2、又は第3の投影光学系の調整方法によれば、投影光学系の組立地と、その投影光学系の移設地との間で設置環境（大気圧等）が異なる場合に、その組立地の設置環境を変化させることなく、実質的にその移設地での設置環境に合わせてその投影光学系の調整を行うことができる利点がある。

また、本発明の第1、又は第2の投影露光装置によれば、それぞれ本発明の第1の投影光学系の調整方法、又は本発明の第2若しくは第3の投影光学系の調整方法を実施できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例で使用される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】 図1中の絞り可変板5に設けられた複数の○絞りを示す図である。

【図3】 図1中の露光光源1の波長制御装置を示す図である。

【図4】 図1の投影光学系11の結像特性補正部の構成を示す一部を切り

欠いた図である。

【図 5】 図 1 中の光電検出部 19 を示す拡大平面図である。

【図 6】 図 5 を Y 方向に見て遮光膜の部分を断面とした図である。

【図 7】 光電検出部 19 の開口と投影像との関係を示す拡大図である。

【図 8】 結像特性計測時に光電検出部 19 から得られる検出信号を示す図である。

【図 9】 図 8 の検出信号を走査方向の位置で微分して得られる信号を示す図である。

【図 10】 図 1 において、照明光 I_L の波長を変化させてデフォーカス量の変化量を計測して得られる計測データを表す図である。

【図 11】 図 1 において、照明光 I_L の波長を変化させて倍率誤差の変化量を計測して得られる計測データを表す図である。

【図 12】 レンズに入射する照明光の光路を示す図である。

【図 13】 レンズの相対屈折率 n_r と照明光の波長 λ 及び周囲の気体の圧力 P との近似的な関係を示す図である。

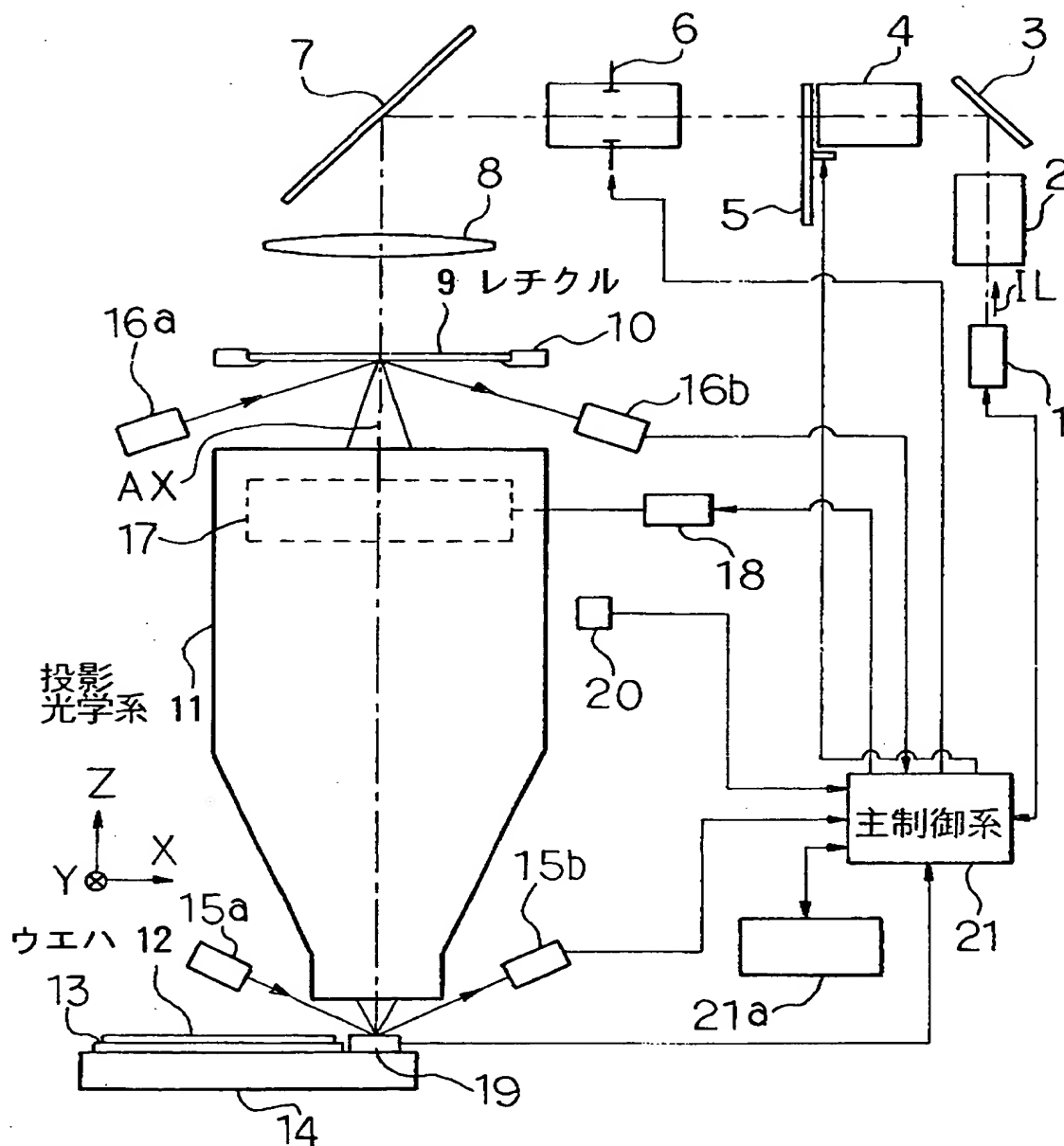
【図 14】 デフォーカス量 F と照明光波長 λ 及び周囲の気体の圧力 P との近似的な関係を示す図である。

【符号の説明】

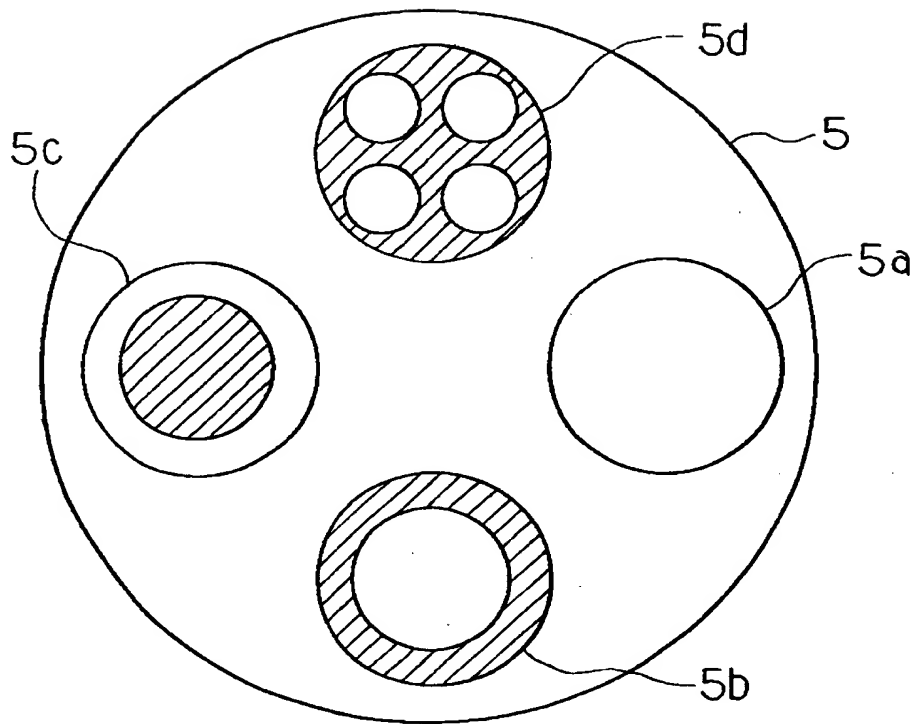
1…露光光源、2…第 1 フライアイレンズ、4…第 2 フライアイレンズ、5…絞り可変板、6…レチクルブラインド、7…ミラー、8…コンデンサレンズ、9…レチクル、10…レチクルステージ、11…投影光学系、12…ウエハ、13…ウエハホルダ、14…ウエハステージ、15 a, 16 a…斜入射方式の A F センサの照射光学系、15 b, 16 b…斜入射方式の A F センサの集光光学系、17…結像特性補正部、18…結像特性制御部、19…光電検出部、20…環境センサ、21…主制御系、22…回折格子、23～27…レンズ、28～32…駆動素子、33…平行平板、34…開口、35…光電センサ

【書類名】 図面

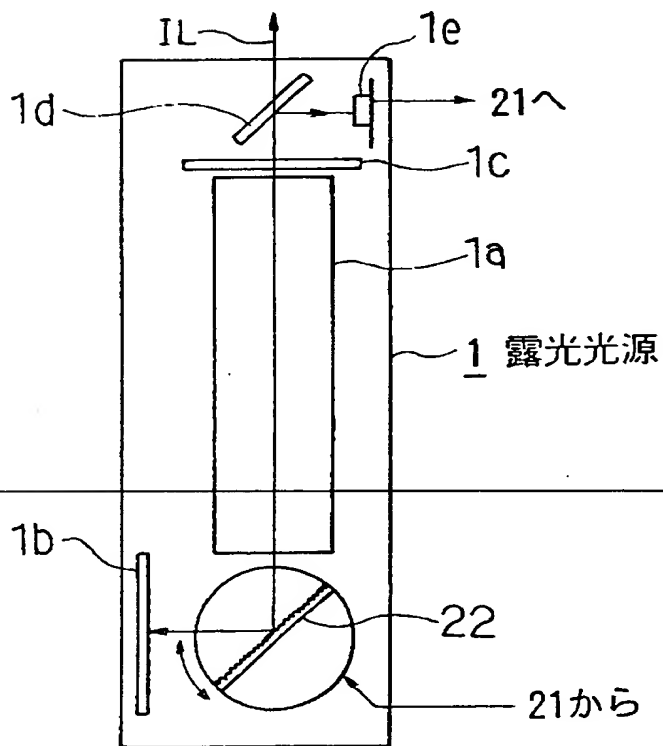
【図 1】



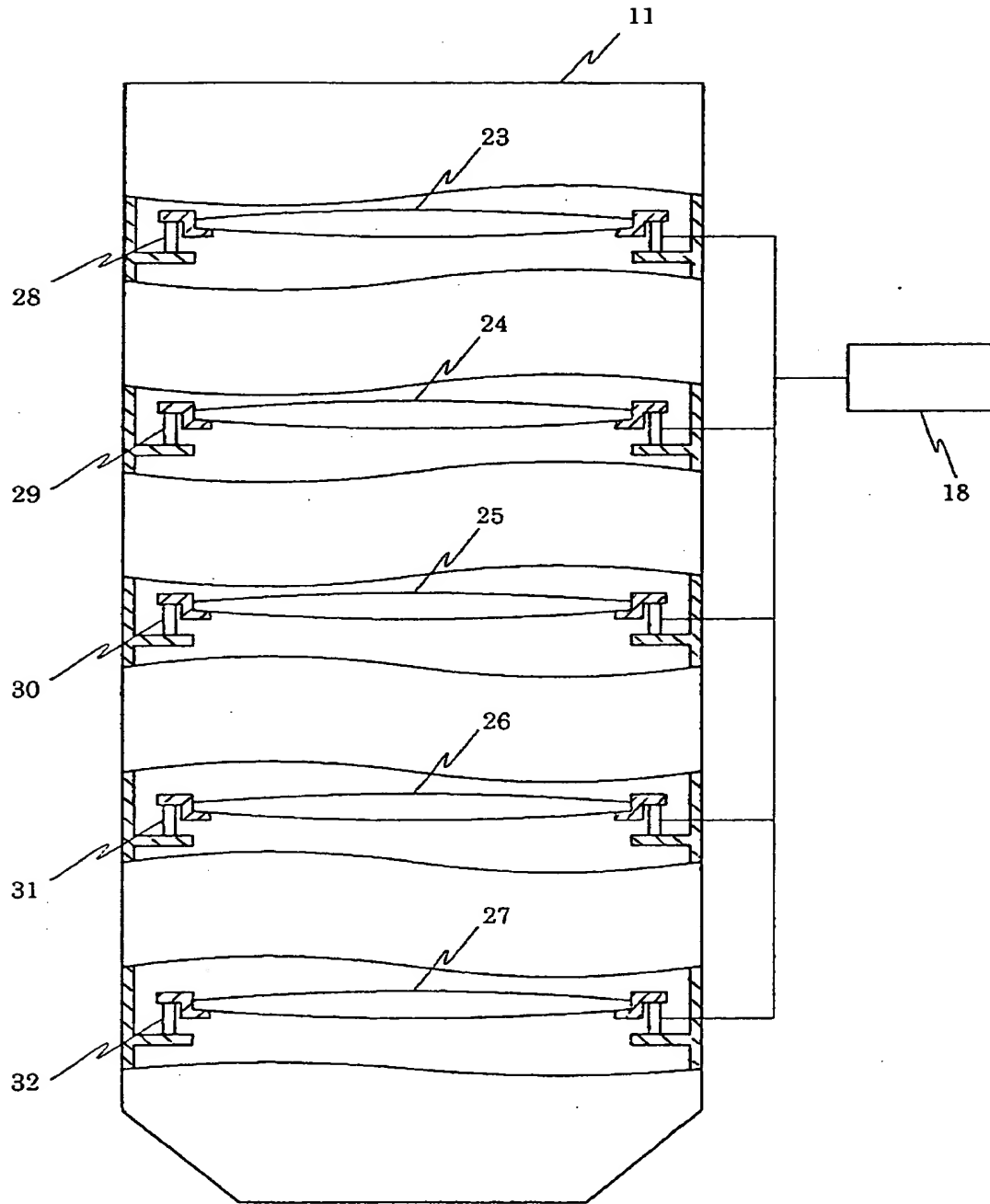
【図2】



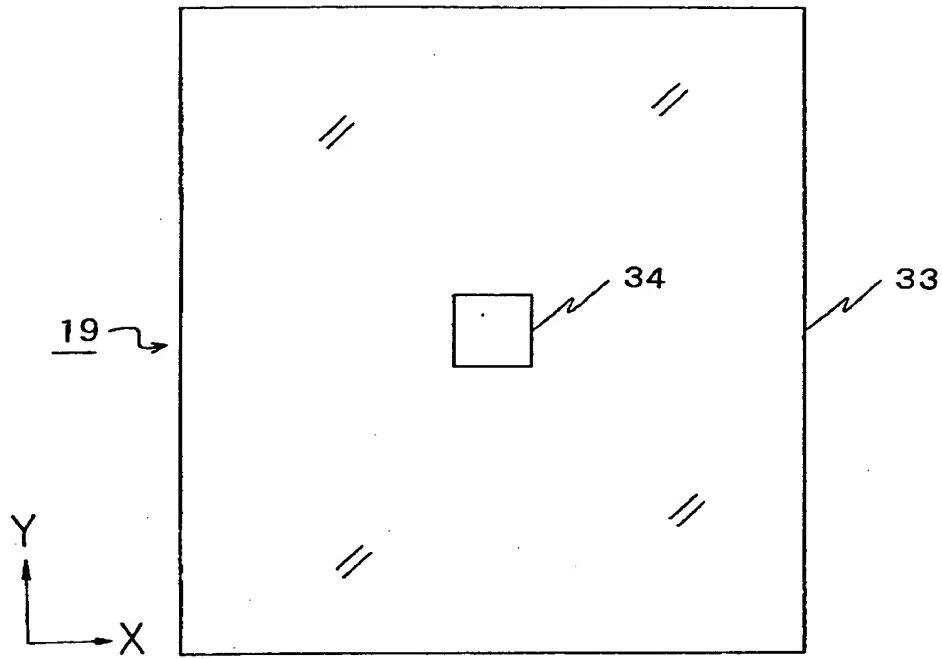
【図3】



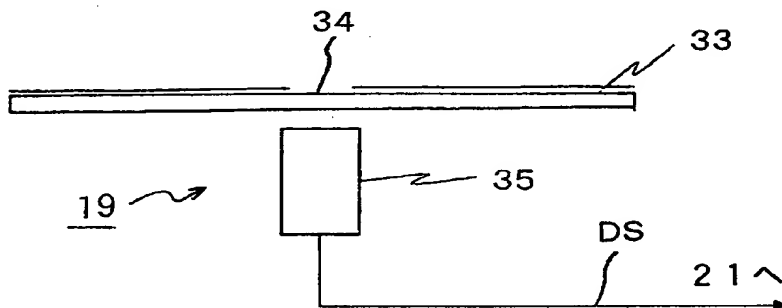
【図4】



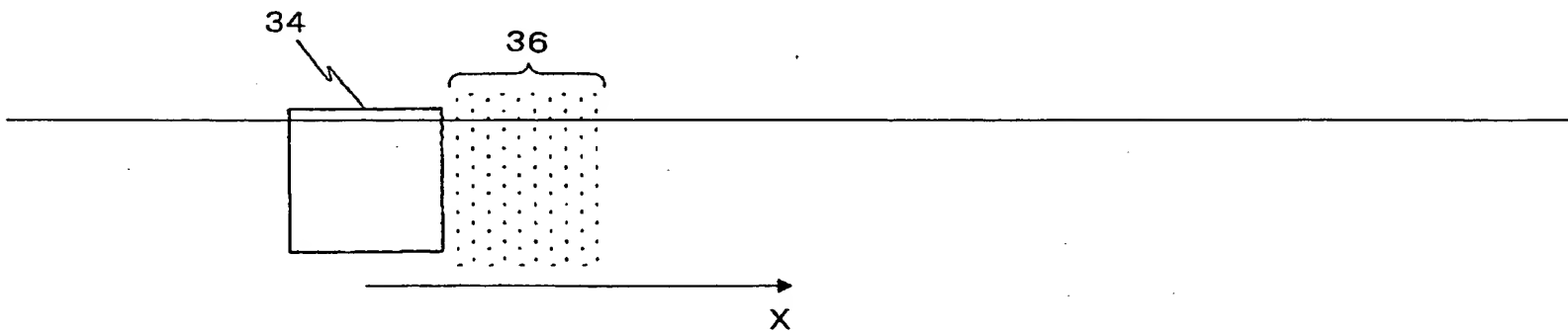
【図 5】



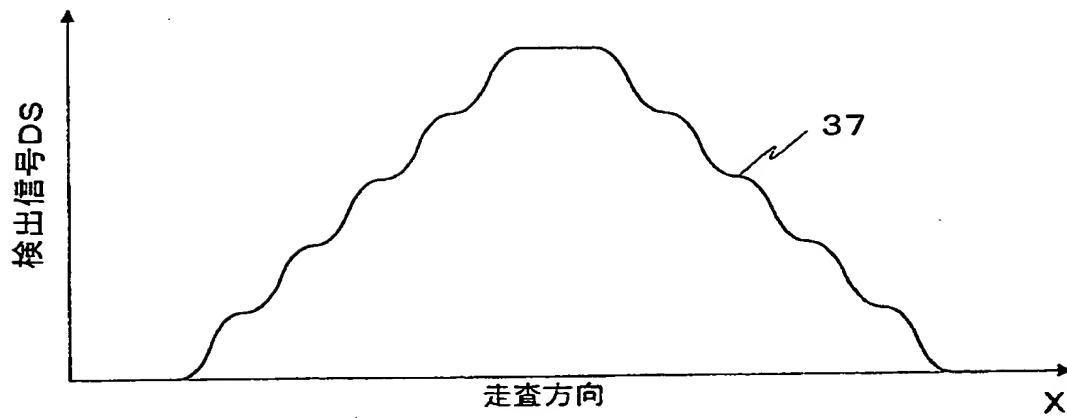
【図 6】



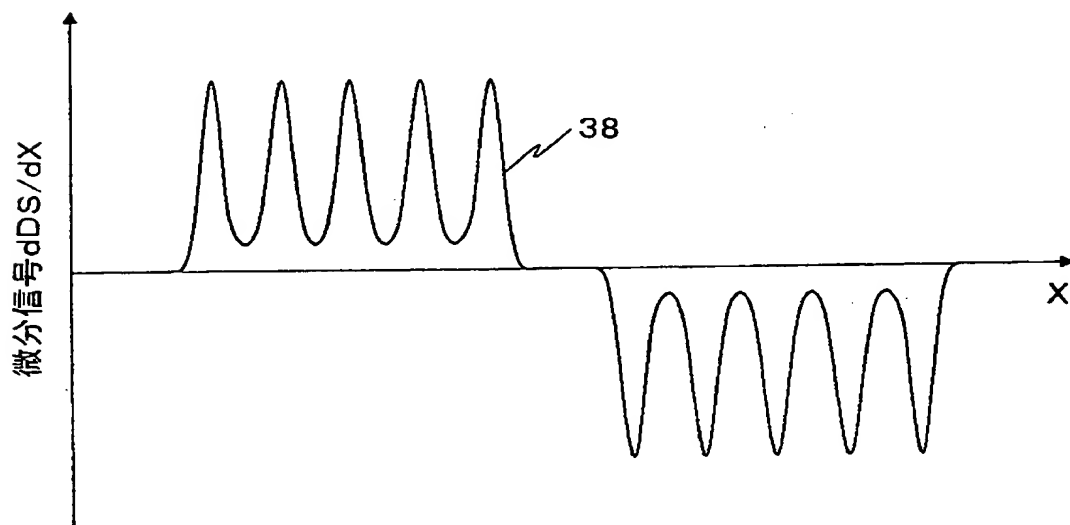
【図 7】



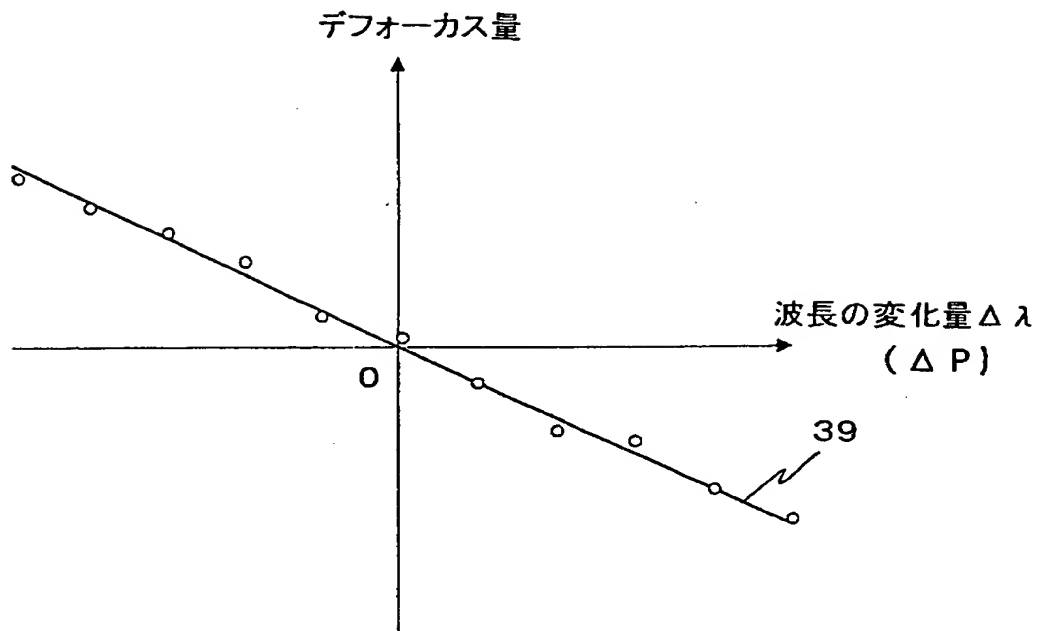
【图 8】



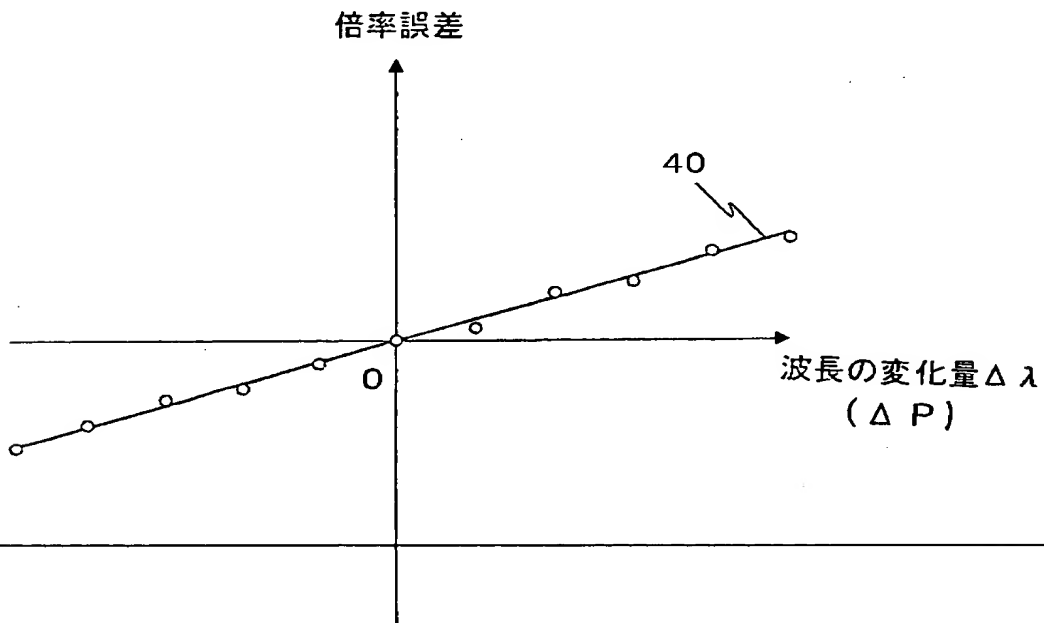
【图 9】



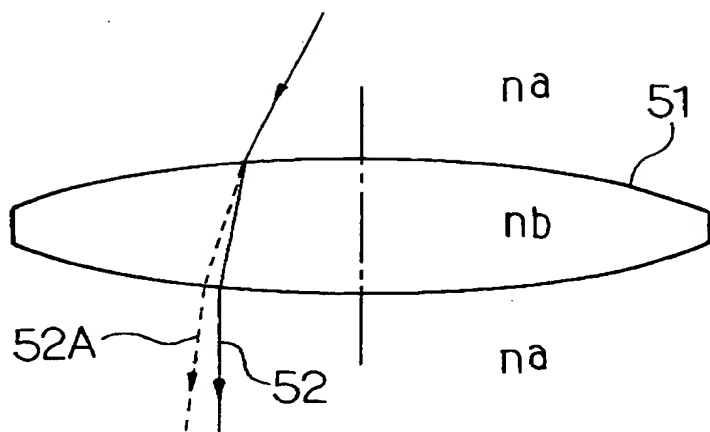
【図 10】



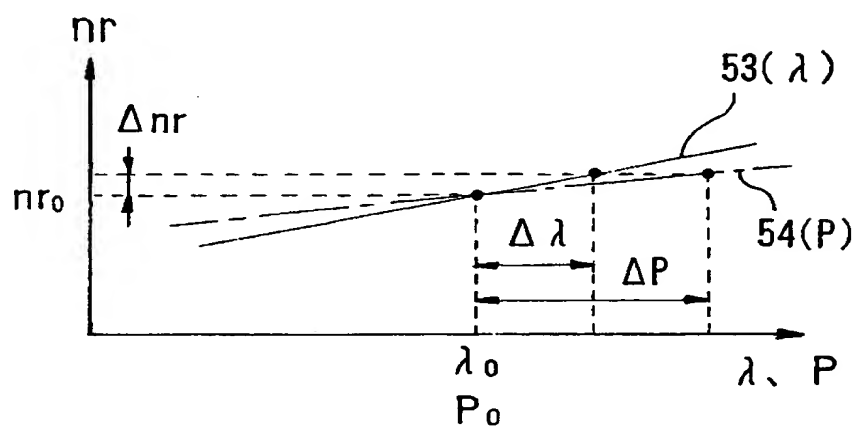
【図 11】



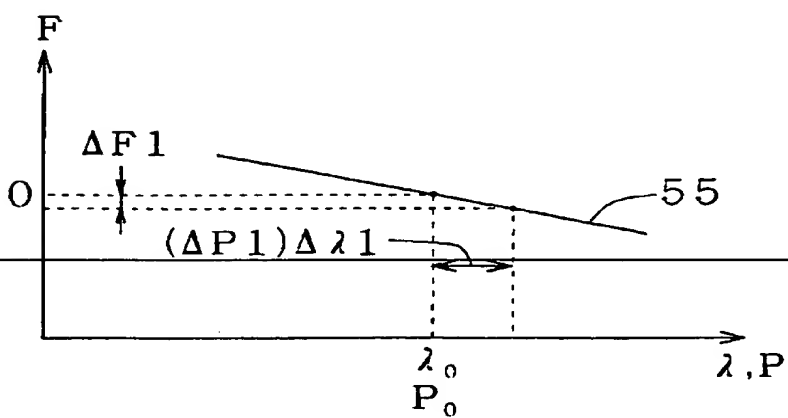
【図12】



【図13】



【図14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実際に投影光学系の周囲の設置環境（気圧等）を変化させることなく、実質的にその設置環境の変化に対するその投影光学系の結像特性の変動量の関係（依存性）を短時間に測定する。

【解決手段】 露光光源 1 からの照明光 I L がフライアイレンズ 2, 4 及びコンデンサレンズ 8 等を介してレチクル 9 を照明し、照明光 I L のもとでレチクル 9 のパターン像が投影光学系 11 を介してウエハ 12 上に投影される。投影光学系 11 にとって照明光 I L の波長が変化することと、その周囲の気圧（ほぼ大気圧に等しい）が変化することとは実質的に等価であることを利用して、照明光 I L の波長を変化させて結像特性の変動量を計測することによって、その結像特性の大気圧依存性を計測する。

【選択図】 図 1

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】
【識別番号】 000004112
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
【氏名又は名称】 株式会社ニコン
【代理人】 申請人
【識別番号】 100098165
【住所又は居所】 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501
大森特許事務所
【氏名又は名称】 大森 聡

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

氏 名 株式会社ニコン

THIS PAGE BLANK (USPTO)